

## 高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）科学技术进步奖公示材料

**项目名称：**高盐有机废水电化学达标治理系统优化关键技术与应用

**项目简介：**工业废水中占有相当比重的高盐有机废水（含盐质量分数>1%）一般具有成分复杂、污染物浓度高、生物毒性强等特点，环境、生态危害尤为巨大；此类废水的达标治理一直是环保界所面临的行业难题。针对生化工艺处理流程复杂、占地面积大和环境适应性较差等缺点，本项目以填充床电极反应器为研究对象，构建了一套有机污染物电催化氧化系统优化理论体系，提出了两项高效电化学水处理关键技术，并在高盐有机废水处理领域进行了广泛的工程实践，实现了此类废水高效、低耗、短流程达标治理的目标，获得了显著的经济效益、环境效益和社会效益。

本项目包含的技术内容主要如下：**（1）确立了填充床电极反应器电极（包括阳极和复极化粒子电极）催化性能与活化面积的表征方法：**考虑电极载荷能力和电荷输移特性，以电化学测试手段（循环伏安和电化学阻抗谱）为依据，精确描述了有机污染物种类和电极材质、类型之间的作用机理，可为高活性电极定向制备、催化氧化性能评估及其优选提供新策略。**（2）构建了填充床电极反应器设计与体系：**在充分解析电极界面反应和有机污染物传质规律的基础上，结合本项目建立的完整描述有机污染物浓度时空变化规律的“阶段反应理论”，可指导与废水水质相对应的有效反应时间、极板面积、极板间距的准确确定，进而有效预估电化学水处理工艺基建投资和运行成本数额，为反应器的精确设计奠定实践基础。**（3）提出了一种深度节能的梯级电催化氧化技术及其优化构建算法：**利用随反应进程有机物浓度逐步降低所需操作电流密度逐渐减小的原理而设计，保障每一梯级均处于反应控制状态，电流效率均为 100%，进而达到深度节能并大幅度减少基建投资、处理成本的目标。与传统的电催化氧化技术相比，节能 40% 以上，电耗低达 3.62 kW·h/kgCOD；基建投资减少 50% 左右。**（4）研发出用于低浓度有机废水处理的闭路内循环饱和活性炭电化学再生技术：**由于传质进程的限制，低浓度有机废水处理电耗将会成倍增加；因此，首先采用活性炭吸附床保障出水达标排放，而后采用电化学技术进行饱和活性炭再生；两个单元交替运行。在提高处理效率的同时，可以大幅度降低痕量有机物电催化氧化电耗，处理出水可达任意排放标准要求。**（5）建立了系列高盐有机废水达标治理的电化学处理流程：**以梯级电催化氧化技术和闭路内循环饱和活性炭电化学再生技术为主体处理流程，当 COD 浓度在 2000mg/L 以上时，两种技术串联运行；COD 浓度较小，如低于 500mg/L 时仅采用后者；突破了此类废水低耗、短流程达标治理的行业性理论、技术难题。

以电化学水处理技术的理论研究和工程实践为基础，项目组承担包括国家自然科学基金

在内的各类纵向项目 13 项，发表科研论文 105 篇，其中 SCI 收录 65 篇，SCI 引用 572 次，出版专著 1 部；培养研究生 52 名。授权发明专利 19 项，项目技术在 10 余项工程中得以应用，特别是研制的垃圾渗滤液和远洋船舶灰水系列成套电化学处理装备已批量生产，在环境保护方面起到了广泛的行业、区域典范作用。

### **主要完成单位及创新推广贡献：**

**1、中国矿业大学：**以校现代分析与计算中心为依托，提供了本项目研究所需的大型测试仪器与设备；学校的教学、科研属性为项目实施提供了人才支持、智力支持与知识贡献；学校鼓励、支持科研成果的转化，通过产学研合作，为本项目研究成果的工程应用提供了极为便利的条件。支持了高盐有机废水电化学达标治理设备的集成技术与成果转化，资助申请发明专利、发表论文、专著出版等具体事宜。

**2、生态环境部华南环境科学研究所：**本单位为项目研究的实施提供了科研平台，研究所为项目实施提供了必要的硬件测试仪器。研究所极其重视科研成果的转化，与多个生产企业保持长期的产学研协作关系，为项目的实施和工程应用提供了便利条件。

**3、华南理工大学：**作为“985”高校，学校极为重视基础研究，为项目申请、实施提供了学术条件；为本项目材料制备、表征提供了科研条件和物力、人力支持。同时，学校特别关注教师科研成果的转化，经由学校产学研合作并依托广东省经济优势为项目技术的工程实践提供了平台。

**4、东华理工大学：**支持本学校教师与中国矿业大学相关课题组进行了科研合作，参与了多项纵向科研项目研究，并合作发表多篇高水平科研论文，合作申请、授权发明专利 5 项。

**5、南通科技职业学院：**为本项目部分研发内容的实施提供了便利条件和支持；学校积极推进相关科研成果的转化和应用，在多家与本校保持产学研合作的单位开展了工程实践。

**6、辽宁省生态环境保护科技中心：**本中心支持了科研人员与校外高水平研究团队的科研合作，并与相关单位积极联系，协助本项目技术的工程应用。

**7、安徽乐农环保科技有限公司：**支持公司相关人员参与项目研究，投资近 50 万元建成船舶灰水电催化氧化装置，并进行了长时间的中试实验研究；与本项目研发团队合作，开展了船舶灰水处理设备的集成研究并定型生产相关水处理设备。建成多项高盐有机废水处理工程，有效推动了本项目技术的广泛工程应用。

**8、徐州世润德环保科技有限公司：**投资近 40 万元建成高盐有机废水集成装备，开展了多项现场试验用于验证技术的可行性。开发出垃圾渗滤液系列电化学处理装备；承建多项高盐有机废水达标治理工程，为本项目成果的大范围工程应用奠定了基础。

### **推广应用情况：**

截至目前，本项目技术已在含氯化吡啶废水、甘氨酸生产废水、氯化亚砷(OB 酸)生产废水、农药(恶草酮)生产废水等高盐有机废水处理工程中得以应用；也被相关企业用于精制棉生产废水、金属表面处理行业生化处理出水提标工程、煤化工废水生化处理出水提标工程、染整行业膜浓缩液处理等污染治理工程，获得了显著的经济效益、环境效益和社会效益。本项目提出的梯级电催化氧化技术及闭路内循环饱和活性炭电化学再生技术相结合的完整流程已作为船舶灰水处理、垃圾渗滤液达标治理流程的主体单元，前者已在某远洋运输企业得到成功推广应用，后者已用于垃圾填埋场渗滤液处理中，实现了垃圾渗滤液的达标排放，有广泛的社会示范效应。

近年来，除用于高盐有机废水达标治理工程以外，本项目成果应用范围已拓展至金属废物电化学资源化、煤的浆化除硫除铁、燃煤烟气同步脱硫脱硝以及 CO<sub>2</sub> 资源化利用等领域，并显现了极强的竞争力；由此看出，研究成果不仅可为有机工业废水达标治理提供新方法、新理论、新工艺、新技术，也可有效推动我国大气污染治理、固废资源化等环境保护相关学科领域的技术进步。

#### 曾获科技奖励情况：

获奖项目名称	获奖时间	奖项名称	奖励等级	授奖部门（单位）
徐州市再生水利用主途径和风险防范技术研究与应用	2017	江苏省水力科技进步奖	三等	江苏省水利学会
Properties of Fluoride-doped $\beta$ -PbO <sub>2</sub> electrodes and their electrocatalytic activities in degradation of acid orange II	2017	南通市第十届自然科学优秀学术论文	一等	南通市人民政府
地下水环境激素类有机污染及修复新技术研究与应用	2015	江苏省环境保护科学技术奖	一等	南通市人民政府
Kinetics for ammonium ion removal using a three-dimensional electrode system	2015	南通市第九届自然科学优秀学术论文	三等	南通市人民政府

#### 主要知识产权证明目录：

知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	权利人	发明人	发明专利有效状态
三维结构中多孔电极的有效面积和负载电流的确定方法	中国	ZL201710377346.7	2019-04-10	中国矿业大学	王立章，孔艳	有效
一种阳极氧化强化二氧化碳还原的装置及其方法	中国	ZL201710432141.4	2019-03-26	中国矿业大学	王立章，孔颖，蒋浩	有效
一种电解盐水制备纯氢气、氧气的系统及方法	中国	ZL201710531481.2	2019-03-08	中国矿业大学	王立章，孔颖，陈晴	有效
一种含铀废水高效处理系统及处理方	中国	ZL201710284697.3	2018-11-30	东华理工大学	李鹏，王学刚，王光辉，王立	有效

法						章, 易练, 肖从亮	
一种含铈废水电化学处理方法	中国	ZL201610992609.0	2017-12-22	东华理工大学		李鹏, 王学刚, 郭亚丹, 王立章, 王光辉, 易练, 肖从亮	有效
有机废水处理用活性炭原位再生工艺及装置制备	中国	ZL201510161576.0	2017-06-16	南通科技职业学院		乔启成, 顾晓丽, 石健, 杨春和, 金洁荣, 李亚	有效
一种给水污泥复合填料的制造方法及其填料床	中国	ZL201310700033.2	2015-08-19	环境保护部华南环境科学研究所		魏东洋, 洪雷, 贺涛, 许振成	有效
一种碱改性凹凸棒土吸附剂及其制备方法	中国	ZL201610200746.6	2018-06-19	环境保护部华南环境科学研究所		魏东洋, 王信, 贺涛, 马啸宙, 桑燕鸿, 周雯, 易皓, 雷育涛, 方晓航, 夏孝东	有效
一种基于碳纳米管有序排列的聚氯乙烯超滤膜及其制备方法与应用	中国	ZL201410660229.8	2016-10-05	华南理工大学		牛晓君;吴浩	有效
一种利用脉冲电场强化内压膜过滤的装置和方法	中国	ZL201310573525.X	2015-04-22	华南理工大学		牛晓君, 闫新秀, 王彩虹.	有效

主要完成人情况表

排名	姓名	性别	职称	工作单位	完成单位	对成果创造性贡献	曾获奖励情况
1	王立章	男	教授	中国矿业大学	中国矿业大学	主持项目研究, 技术总负责。建立了电极反应器设计体系, 提出梯级电催化氧化技术并; 主持电化学技术在有机废水达标治理中的应用。在该项目中发表论文 70 余篇, 出版专著 1 部, 授权发明专利 5 件; 培养研究生 35 名。	1、生态环境部环境保护科学技术奖二等奖 (2016, 排名 1) 2、江苏省高等教育教学成果奖二等奖 (2013, 排名 3)
2	魏东洋	男	研究员	生态环境部华南环境科学研究所	生态环境部华南环境科学研究所	主持子项目研究, 工程实施的技术总负责人。在该项目中发表论文 10 余篇, 授权发明专利 4 件; 培养或联合培养硕士生 5 名。	1、生态环境部环境保护科学技术奖二等奖 (2016, 排名 2) 2、甘肃省科学技术进步二等奖 (2006, 排名 6)
3	牛晓君	男	教授	华南理工大学	华南理工大学	开展环境功能材料定向制备策略研究。在该项目中授权发明专利 9 件, 发表 SCI 论文 15 篇; 培养研究生 12 名。	
4	李长贵	男	教授	中国矿业大学	中国矿业大学	协助开展处理流程优化理论研究, 有效拓展了项目技术的应用领域; 与多家企业联系, 促成项目技术在实际中的成	

						功运用。	
5	罗 萍	女	讲师	中国矿业大学	中国矿业大学	开展环境功能材料制备研究；参与电催化氧化动力学理论体系的架构；参与多项现场废水调试工作。在该项目中申请发明专利 1 件，发表 SCI 收录论文 3 篇；培养研究生 2 名。	
6	张洪建	男	讲师	中国矿业大学	中国矿业大学	负责项目技术的工程推广应用；负责现场施工、调试等工作。	1、生态环境部环境保护科学技术奖二等奖（2016，排名 11）
7	李 鹏	男	讲师	东华理工大学	东华理工大学	验证并优化了材料电催化氧化性能策略；完善了污染物传质模型和动力学理论；参与多项电化学水处理工程的现场调试工作。在该项目中发表论文 10 余篇，授权发明专利 2 件；培养研究生 3 名。	1、生态环境部环境保护科学技术奖二等奖（2016，排名 6）
8	乔启成	男	副教授	南通科技职业学院	南通科技职业学院	参与构建阳极优选理论；开发出多种类型的高性能阳极材料；将电催化氧化技术应用于激素类有机物污染地下水的修复，取得了明显成效。在该项目中发表论文 30 余篇，授权发明专利 3 件。	1、生态环境部环境保护科学技术奖二等奖（2016，排名 4） 2、南通市科技进步一等奖（2015，排名 2） 3、江苏省环境科学技术二等奖（2015，排名 2）
9	王留锁	男	高级工程师	辽宁省生态环境保护科技中心	辽宁省生态环境保护科技中心	参与现场工程调试，协助本项目技术的工程应用。	
10	傅剑锋	男	高级工程师	安徽乐农环保科技有限公司	安徽乐农环保科技有限公司	针对项目技术的中试装置及现场中试进行了物力、人力支持；开展了船舶灰水处理设备的集成研究并定型生产相关水处理设备。建成多项高盐有机废水处理工程，有效推动了本项目技术的广泛工程应用。	1、生态环境部环境保护科学技术奖二等奖（2016，排名 5）
11	刘 村	男	无	徐州世润德环保科技有限公司	徐州世润德环保科技有限公司	建成垃圾渗滤液达标治理的示范装置 1 套；协助开展现场实验验证并进行了垃圾渗滤液工业集成装备的定型工作；承建多项高盐有机废水达标治理工程，为本项目成果的大范围工程应用奠定了基础。	
12	杨德军	男	副教授	中国矿业大学	中国矿业大学	完善了有机污染物电催化氧化传质机理。在该项目中发表论文近 10 篇，授权发明专利 2 件。	
13	王 晓	女	副教授	中国矿业	中国矿业	参与了饱和活性炭电化	1、生态环境部环

				大学	大学	学再生技术的理论与实验研究。在该项目中发表科研论文近 10 篇, 授权发明专利 1 件, 培养硕士生 3 名。	境保护科学技术奖二等奖 (2016, 排名 13) 2、江苏省水力科技进步奖三等奖 (2017, 排名 2)
14	熊集兵	男	副教授	中国矿业大学	中国矿业大学	参与梯级电催化氧化技术的优化理论研究。在该项目中授权发明专利 2 件, 培养硕士生 2 名。	
145	蒋家超	男	副教授	中国矿业大学	中国矿业大学	协助开展技术集成与优化工作, 积极推广项目技术的工程应用。在该项目中授权发明专利 1 件, 培养硕士生 2 名。	1、生态环境部环境保护科学技术奖二等奖 (2016, 排名 3)
16	蒋浩	男	博士生	中国矿业大学	中国矿业大学	参与电催化氧化理论体系的验证工作, 采用实验室规模反应器开展了大量研究。在该项目中发表 SCI 收录论文 2 篇。	
17	卓孟宁	男	硕士生	中国矿业大学	中国矿业大学	参与电催化氧化理论体系的验证工作, 采用实验室规模反应器开展了大量研究。	